

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРЕПИ  
НА ПАРАМЕТРЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА ПОРОД ВОКРУГ  
ПРОТЯЖЕННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Виконано аналіз впливу несучої здатності кріплення на зміщення контуру виробки за результатами шахтних вимірів. З урахуванням емпіричної залежності проведено аналітичні розрахунки, що дозволили оцінити ступінь впливу несучої здатності кріплення для різних геомеханічних умов експлуатації виробок.

**RESEARCH OF INFLUENCE OF BEARING STRENGTH OF SUPPORT  
ON PARAMETERS OF ROCK MASS DEFORMATIONS AROUND OF  
EXCAVATIONS**

The analysis of influence of bearing strength support on displacement of a contour of excavations by results of mine measurements is executed. In view of empirical dependence analytical calculations which have allowed to estimate a degree of influence of bearing strength support for various geomechanical conditions of operation of excavations is carried out.

Постоянное увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых существенно ухудшило геомеханическую ситуацию при ведении горных работ. Проявления горного давления в выработках становятся все более интенсивными и опасными: увеличиваются области разрушенных пород вокруг выработок, возрастают смещения контура выработок, деформации крепи, учащаются случаи газодинамических явлений, горных ударов, проявления и последствия пучения часто носят катастрофический характер.

Изучение состояния протяженных выработок шахт Украины, анализ затрат на поддержание и ремонт, показывают, что наиболее трудоемкими процессами при обеспечении их эксплуатационного состояния являются мероприятия по борьбе с пучением пород почвы. В связи с этим, поиск эффективных средств и методов борьбы с пучением является одной из важнейших технических задач. Разработка технологических параметров таких мероприятий неразрывно связана с исследованием закономерностей этого явления.

В [1] поставлена и решена задача о потере упругопластической устойчивости равновесия приконтурного массива, приводящей к вспучиванию пород почвы. В результате получен критерий вспучивания в виде:

$$\bar{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 = 0, \quad (1)$$

где  $\bar{\varepsilon}_v$  – среднее значение относительного увеличения объема пород в пределах зоны неупругих деформаций (ЗНД),  $r_L^*$  – относительный критический радиус области пластических деформаций.

Выражение (1) определяет возможность перехода породного массива вокруг выработки из одного устойчивого равновесного состояния в другое, со-

проводящееся вспучиванием пород почвы. Физическая суть его состоит в следующем. В процессе неупругого расширения пород в замкнутом объеме с жесткими внешними размерами ( $r = r_L$ ) происходит перемещение внутреннего контура ( $r = 1$ ). До тех пор, пока эти перемещения не достигнут некоторой критической величины, внутренний контур сохраняет первоначальную форму. При достижении же критических значений перемещений происходит резкое искажение формы внутренней границы, сопровождающееся уменьшением уровня потенциальной энергии в приконтурной зоне и большими перемещениями на контуре выработки. В случае если выражение (1) меньше нуля, в выработке произойдет вспучивание пород почвы.

Управляющими параметрами в (1) являются относительное среднее значение объемного разрыхления вмещающих пород  $-\bar{\varepsilon}_v$  и относительный радиус области пластических деформаций  $-r_L$ . Их произведение пропорционально величине неупругих перемещений на контуре выработки.

Являясь хорошо обоснованным с точки зрения физики протекания процесса, предложенный критерий не совсем удобен, поскольку определить величину  $r_L^*$  с достаточной точностью в шахтных условиях практически невозможно. Более удобным показателем для оценки состояния выработки и окружающих ее пород является смещение контура выработки, которое легко определить в натурных условиях. В [2] на основе базового решения (1) о критическом радиусе ЗНД, предложен более практичный критерий, основанный на критической величине смещений пород почвы:

– для условий гидростатического распределения внешних нагрузок ( $\lambda = 1$ ):

$$u_{y^*} = 0,006 \left( 14,7 + \sqrt{1 - 67,2 \varepsilon_v} \right) \left[ \exp \left( -\frac{1}{NB} \right) - 1 \right], \quad (2)$$

– для негидростатического распределения нагрузок ( $\lambda \neq 1$ ):

$$u_{y^*} = 0,006 \left( 14,7 + \sqrt{1 + 67,2 \varepsilon_v} \right) \left[ \exp \left( -\frac{(1+\lambda)}{2NB} \right) \left( 1 - \frac{(1-\lambda)}{NB} \right) - 1 \right] \varepsilon_v, \quad (3)$$

где  $u_{y^*} = U/R_0$  - величина критических смещений почвы выработки, при которой начинается неуправляемый процесс пучения;  $U$  - абсолютная величина смещений контура выработки,  $R_0$  - радиус выработки,  $B = \frac{r_L^2 - k_{ocm}}{1 - r_L^2}$ ,  $k_{ocm} = \frac{R_{ocm}}{R_c}$

– коэффициент остаточной прочности;  $R_{ocm}$  – остаточная прочность пород на контуре выработки,  $N = \theta \sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)}{\theta}}$ ,  $\theta = \frac{R_c}{\gamma H}$  - показатель условий разработки;  $\psi = R_p / R_c$  – коэффициент хрупкости пород;  $R_p$ ,  $R_c$  – пределы прочности образцов горных пород на одноосное растяжение и сжатие (для пластичной среды  $0 \leq \psi \leq 1$ ).

Обеспечить устойчивое состояние пород почвы, как следует из соотношений (1-3), можно двумя путями:

- 1) уменьшая величину  $r_L$ ;
- 2) уменьшая величину  $\varepsilon_v$ .

В любом случае управление геомеханическими процессами в окружающем выработку массиве должно выполняться в выработке, после ее проведения установкой крепи соответствующей несущей способности и податливости в комплексе с различными мероприятиями по упрочнению массива, сохранению его остаточной прочности, предупреждению опасных смещений породного контура. Важным вопросом в осуществлении указанных мероприятий является установление степени влияния несущей способности крепи на параметры геомеханических процессов вокруг выработки – размеры ЗНД и величину смещений ее контура.

Основываясь на результатах решения упругих, упруговязких и упругопластических задач, ряд исследователей считают, что отпор крепи незначительно влияет на смещение пород, поскольку его величина несоизмеримо меньше гравитационного давления  $\gamma H$  на глубоких горизонтах шахт.

Исследуем влияние отпора крепи в аналитическом решении упругопластической задачи [1]. Выражение, принятое для определения радиуса зоны неупругих деформаций вокруг протяженной выработки вне зоны влияния очистных работ с учетом отпора крепи  $P_o$  имеет вид:

$$r_L = \exp \left( \frac{\gamma H - 0,5P_o}{R_c \sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)\gamma H}{R_c}}} - 0,5 \right), \quad (4)$$

На рис. 1 представлена зависимость радиуса ЗНД от отпора крепи  $P_o$  для  $r_L = 3$  при  $\psi = 0,12$  (характеризующий горные породы, как хрупкий материал). Как видно, существенного влияния на изменение радиуса ЗНД отпор крепи не оказывает даже при больших значениях  $P_o$ . Ряд шахтных исследований и результаты моделирования также подтверждают данный факт [3-5].

Таким образом, следует признать, что когда речь идет о несущественном влиянии отпора крепи на размеры ЗНД, принятые в аналитических исследованиях допущения вполне приемлемы и практически не влияют на конечный результат.

Тем не менее, уменьшить радиус области неупругих деформаций можно путем увеличения прочности приконтурного массива. Для этого можно, во-первых, провести его предварительное упрочнение минеральными или синтетическими вяжущими веществами. Это мероприятие должно быть проведено в призабойном пространстве до образования области неупругих деформаций, что не всегда возможно по технологическим и горно-геологическим причинам.

Особенно маловероятно эффективное выполнение этого мероприятия в случае обводненных вмещающих пород, содержащих большое количество глинистых частиц.

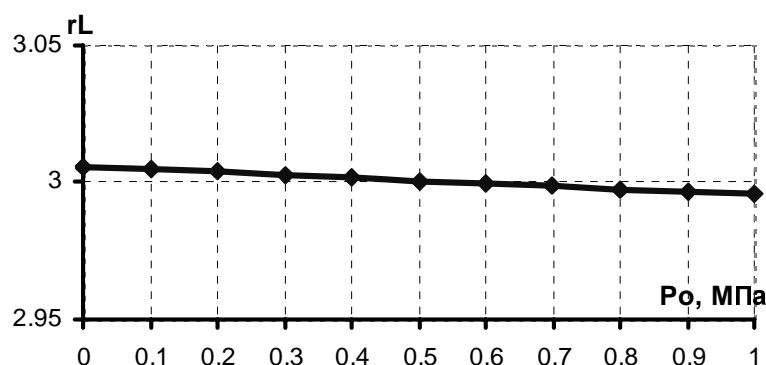


Рис. 1 – Зависимость радиуса ЗНД от отпора крепи  $P_0$

Упрочнение приконтурного массива непосредственно в забое выработки может быть осуществлено также путем установки анкеров с закреплением их по всей длине. Как отмечается в [6, 7], коэффициент упрочнения пород при плотности анкерования  $0,7...2,5$  шт/м<sup>2</sup> изменяется: для скальных пород –  $1,11...1,49$ ; для пластичных –  $1,07...1,46$ ; для углевмещающих –  $1,15...1,91$ .

Во-вторых, весьма эффективной мерой при существующих глубинах разработки может стать изоляция боковых пород, препятствующая возможности контакта с рудничной атмосферой, предупреждая их размокание и потерю прочности. Известно, что породы, намокая в обнажениях, теряют до 80 % своей первоначальной прочности. В особенности это характерно для основных углевмещающих пород – аргиллитов и алевролитов. Так, повышение влажности пород в три раза приводит к снижению прочности пород на одноосное сжатие в  $5...6$  раз. При создании изолирующих покрытий может быть с успехом применена набрызгбетонная технология.

Второй путь управления состоянием приконтурного массива, как было отмечено выше, состоит в уменьшении величины  $\varepsilon_r$ .

Известные исследования поведения пород в условиях «жесткого» деформирования [3, 8, 9] показали, что максимальная величина объемного разрыхления (приконтурная область массива) очень чувствительна к наличию бокового давления. Результаты этих исследований показаны на рис. 2. Причем чем ниже прочность пород, тем сильнее сказывается эффект подпора. В выработках роль бокового давления для приконтурного массива играет отпор крепи  $P_0$ .

Результаты натуральных исследований показывают, что при деформировании окружающего выработку породного массива на глубоких горизонтах, в пределах этой зоны образуются зоны полного и частичного разрушения, что можно использовать для управления состоянием приконтурного массива пород.

Результаты шахтных исследований о влиянии отпора крепи на величину смещений контура выработок по данным [3, 4, 10, 11] приведены на рис. 3.

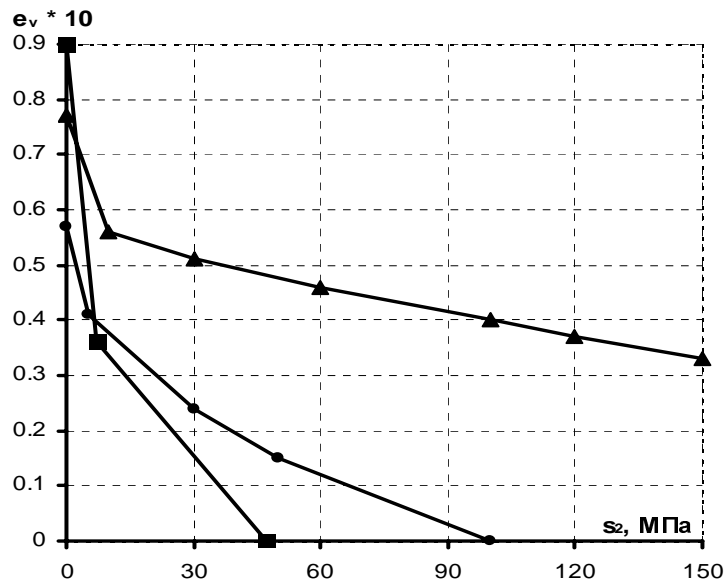


Рис. 2 - Влияние бокового подпора на величину относительного объемного разрыхления пород

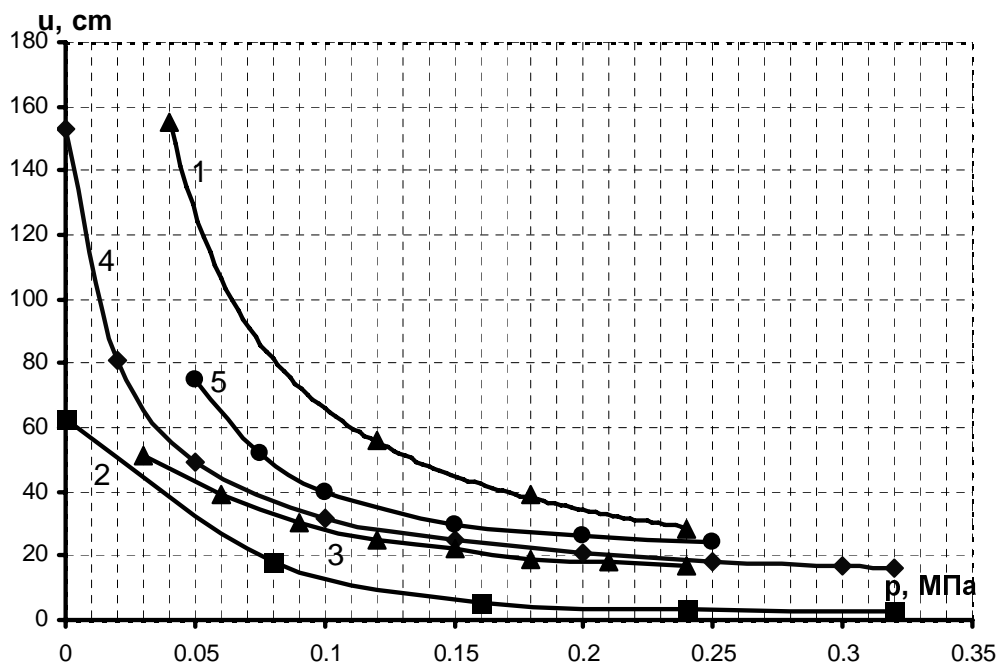


Рис. 3 - Результаты шахтных исследований о влиянии отпора крепи  $P_0$  на смещения контура выработки: 1 – по данным [11], 2, 3 – по [4], 4 – по [3], 5 – по [10]

Исследования проводились в подготовительных выработках шахт Центрального Донбасса (шахты им. Засядько, им. Абакумова, им. Стаханова, № 10 бис «Глубокая»), вне зоны влияния очистных работ, закрепленных металлической арочной податливой крепью из СВП. Изменение сопротивления крепи на экспериментальных участках производилось с помощью установки гидравлических стоек, которые одним концом устанавливались под крон-

штейны, а другим – на металлические подкладки, уложенные на почву выработки. Тарировкой гидростоек, а также изменением их числа, устанавливаемых на одну раму, сопротивление крепи изменялось от 60 до 240 кПа (в отдельных случаях – до 320 МПа). Результаты в [5] получены с помощью применения замков податливости заданной несущей способности. Опытные участки оборудовались на расстоянии 1...4 м от забоя выработки при ее проведении. Измерение смещений пород проводилось с помощью контурных и глубинных реперных станций.

Анализ результатов шахтных исследований показывает следующее:

- при формировании вокруг выработки зоны разрушенных пород, роль крепи сводится к уменьшению объемного разрыхления пород;

- современная технология проведения выработок при низком качестве забутовочных работ приводит к тому, что взаимодействие крепи с окружающими породами начинается на некотором расстоянии от забоя после образования зоны разрушенных пород;

- для достижения максимального эффекта крепь должна устанавливаться в забое с сопротивлением 180-240 кПа. Такой отпор крепи может обеспечить смещения пород без существенного нарушения ее естественной сплошности и снижения прочности.

Для получения более общих рекомендаций по повышению устойчивости выработок и оценки степени влияния отпора крепи, введем в выражение для определения смещений контура выработки, принятое в [1] без учета отпора крепи

$$u = \varepsilon_v^* \left( 0,5 - \sqrt{\frac{\mathcal{H}}{2R_c k_c}} \right) \quad (5)$$

зависимость, характеризующую влияние отпора крепи на объемные деформации, полученную по результатам шахтных исследований в [4]:

$$\varepsilon_v^* = \frac{C_0}{(P_0 + a)} \quad (6)$$

где  $C_0$ ,  $a$  – параметры аппроксимации, составляющих для горно-геологических условий шахты им. Стаханова  $a = 0,02$ ,  $C_0 = - 0,007$ , а для шахты им. Абакумова  $a = 0,028$ ,  $C_0 = - 0,015$ .

Результаты расчетов, выполненных по (5) с учетом (6) приведены на рис. 4.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Специфика механизма управления геомеханическими процессами вокруг выработки состоит в том, что с одной стороны, увеличение несущей способности крепи не приводит к снижению радиуса ЗНД, но с другой стороны это вызывает упрочнение приконтурного массива, уменьшает величину раз-

рыхления и снижает смещения контура выработки.

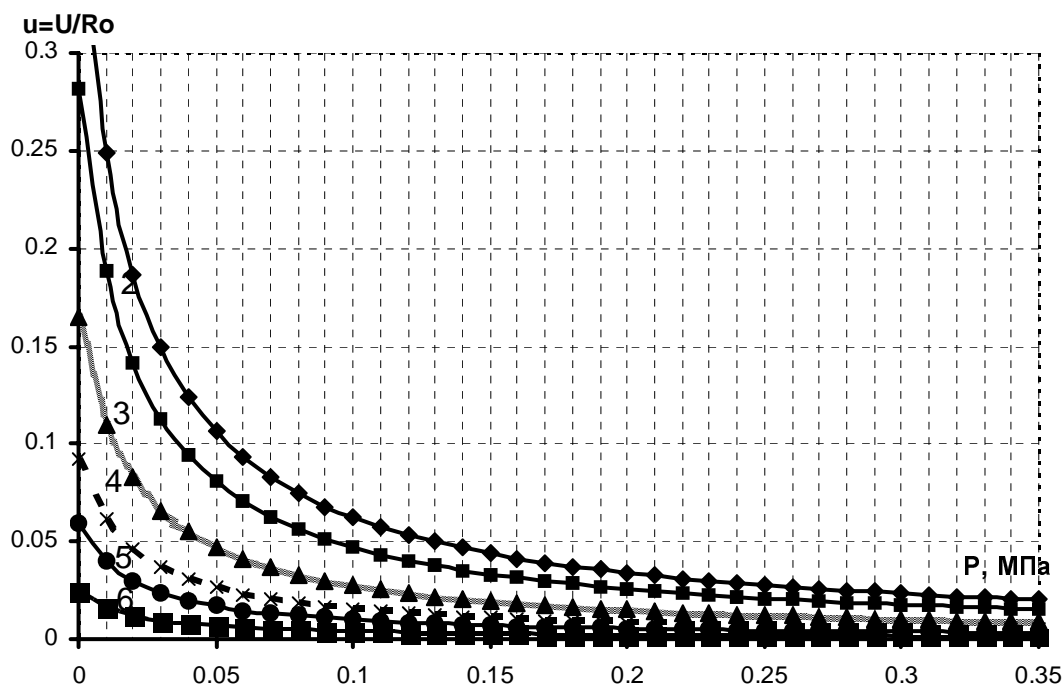


Рис. 4 - Зависимость смещений контура выработки от отпора крепи  $P_o$ : 1-  $r_L = 4,0$ ; 2 -  $r_L = 3,0$ ; 3 -  $r_L = 2,0$ ; 4 -  $r_L = 1,5$ ; 5 -  $r_L = 1,3$ ; 6 -  $r_L = 1,1$

2. Эффект от повышения сопротивления крепи тем выше, чем больше зона неупругих деформаций вокруг выработки ( $r_L$ ), и в связи с этим – больше зона разрушенных пород у контура выработки и степень их разрыхления.

3. Для более неблагоприятных условий разработки (большая величина ЗНД) наибольший эффект достигается при увеличении отпора крепи до 120-150 кПа. Дальнейшее увеличение сопротивления крепи не приводит к существенному снижению смещений пород. Однако при этом значительно увеличивается стоимость крепи и способов охраны выработки.

4. Механизм управления состоянием массива в окрестности горных выработок в условиях возможного вспучивания должен быть связан с механизмом деформирования приконтурной зоны пород и основан на предупреждении разрушения контура выработки, если этого можно достичь применением крепей с высокой несущей способностью, или же снижении их разрыхления и смещений с помощью крепей с высокой несущей способностью при ограниченной податливости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. – Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
2. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Критерии оценки устойчивости пород почвы горных выработок // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – № 1. – С. 44-49.
3. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
4. Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких

шахт. – М.: Недра, 1984. – 304 с.

5. Шашенко А.Н., Янко В.И., Терещук Р.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния однородного породного массива в окрестности выработки, закрепленной анкерной крепью // Науковий вісник НГА України. – 2002. – №3. – С. 14-18.

6. Тимофеев О.В. Методика расчета параметров штанговой крепи при упруго-пластическом деформировании массива пород // Устойчивость и крепление горных выработок. – Л.: ЛГИ, 1976, №3, С. 30–34.

7. Костогрыз В.И. Эффективность упрочнения пластичных пород анкерованием // Науковий вісник НГАУ. – 1998. – №3. – С. 13–15.

8. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

9. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.

10. Повышение надежности работы и отпора податливых крепей подготовительных выработок / Шевченко В.И., Степанников В.В., Гриф Н.М., Костенко В.К., Трухин Н.П. // Совершенствование технологии сооружения горных выработок. – Кемерово, 1986. – С. 25-30.

11. Черняк И.Л., Ильюшенко В.Г., Звягельский Е.Л. Влияние сопротивления крепи на устойчивость подготовительных выработок // Уголь Украины. – 1990. - № 8. – С. 27-28.

**УДК 622.1:528.481**

Асп. Е.В. Стельмащук

(Национальный горный университет)

## **О МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЯХ В УСЛОВИЯХ МОЩНЫХ НАНОСОВ**

Наведено результати досліджень процесу зрушення на стадії формування мульди зрушення. Встановлено закономірності положення максимальних осідань земної поверхні при потужних наносах.

## **ABOUT MAXIMAL DEPOSITIONS IN CONDITIONS OF POWERFUL OVERBURDEN**

Results of research of displacement process at a stage of formation of the subsidence trough of a surface are reduced. Regularities of a position of the maximum depositions of a surface at powerful overburden are established.

Одной из основных задач маркшейдерской службы горного предприятия является обеспечение безопасной подработки сооружений и природных объектов. Решение этой задачи зависит от объективности прогнозирования влияния горных разработок на подрабатываемые объекты, что, в свою очередь, определяется соответствием принятых исходных параметров условиям разработки месторождения и обеспечением требуемой точности применяемыми расчетными способами определения сдвижений и деформаций земной поверхности.

Подавляющее большинство публикаций о сдвигении земной поверхности на угольных шахтах посвящено исследованиям угловых параметров и величин сдвижений и деформаций в главных сечениях мульды при условии закончившегося процесса сдвигения [1]. В обобщенном виде результаты этих исследований на угольных месторождениях Украины приведены в "Правилах подработки..." [2].

В мульде сдвигения над движущимся очистным забоем выделяется три